

# Dinámica de los túneles de secado



**INFORME DE CAMPO: PERSPECTIVAS PARA  
LOS FABRICANTES DE AUTOMÓVILES**

**ENERGÍA Y SOSTENIBILIDAD**

**LO QUE LOS INGENIEROS Y  
GERENTES DE PLANTA DEBEN  
SABER SOBRE LOS TÚNELES DE  
SECADO**

# Tabla de contenido

- 3 Túneles de secado en aplicaciones industriales para pegamento y adhesivos**
- 4 Diseño de procesos y túneles para secado de adhesivos automotrices**
- 6 Cinta transportadora de secado por aire caliente o frío (serie COB-TFI)**
- 8 Perspectivas para fabricantes de automóviles y sus componentes**
- 11 Por qué es importante la humedad relativa**
- 12 Espesor de la película y contenido de sólidos**
- 13 Túnel de bahías múltiples**
- 14 Cinética de curado de adhesivos y formación de uniones**
- 15 Lo que los ingenieros y gerentes de planta necesitan saber**
- 17 Construyendo para confiabilidad y auditabilidad**
- 19 Mantenimiento y capacidad de servicio**
- 21 Integración con líneas de producción automotrices**
- 22 Preparación para el futuro y cumplimiento normativo**



# Túneles de secado en aplicaciones industriales para pegamento y adhesivos

Bienvenidos a la edición de septiembre de 2025 del boletín Cobeal, donde nos entramos en los adhesivos industriales como la columna vertebral de la fabricación moderna, desde interiores de automóviles hasta embalajes y textiles. La fiabilidad de una unión a menudo depende de un control ambiental preciso durante la etapa de secado. Sin embargo, muchas instalaciones aún dependen de sistemas variables o antiguos que hacen que los adhesivos sean vulnerables a un secado ineficiente, excesivo o irregular.

Esta edición explora el papel de los túneles de secado y enfriamiento en el rendimiento del adhesivo. Basándonos en observaciones de campo y lecciones aprendidas en diferentes sectores, incluyendo los túneles de secado de precisión de Cobeal utilizados en aplicaciones automotrices, de confitería y farmacéutica, presentamos estrategias de ingeniería para mejorar la consistencia, la eficiencia y la resistencia de la adhesión. Los hallazgos clave destacan la importancia de equilibrar la temperatura (~24 °C), la humedad relativa (~35 % HR), el flujo de aire laminar (0.2-0.4 m/s) y el tiempo de permanencia (reduciendo el tiempo de secado entre un 30 % y un 50 %) para lograr una adhesión estable y reducir el desperdicio.

## Fondo

Los adhesivos están reemplazando cada vez más las fijaciones mecánicas y las soldaduras en todos los sectores. Tan solo en la industria automotriz, los adhesivos fijan componentes de espuma, plástico y cuero, proporcionando integridad estructural y confort acústico. Hay mucho en juego: un curado deficiente o un secado irregular provoca deslaminación, aglutinación, agrietamiento o fallas de adhesión.

Los túneles de secado y enfriamiento de Cobeal proporcionan un entorno controlado donde el agua o los solventes presentes en los adhesivos se eliminan a un ritmo que protege tanto la línea de unión como el sustrato. En principio, estos túneles son similares a los sistemas utilizados en el procesamiento de alimentos o el acondicionamiento farmacéutico: su propósito no es solo acelerar la eliminación de la humedad, sino guiarla de forma que se preserve el rendimiento.

En esta edición exploraremos desafíos comunes como:

**Secado insuficiente:** las superficies quedan pegajosas, lo que da lugar a una unión débil.

**Secado excesivo:** los adhesivos pierden plasticidad, se agrietan o no se adhieren a las superficies.

**Secado desigual:** los gradientes de temperatura o flujo de aire crean puntos débiles.

**Ineficiencia energética:** los sistemas no controlados desperdician energía y ofrecen resultados inconsistentes.

Se presentan observaciones de campo de un recorrido reciente por una planta de fabricación de automóviles, donde se observaron varios problemas operativos en toda la industria. Estos hallazgos reflejan los desafíos que enfrentan los distintos sectores y enfatizan la necesidad de contar con túneles diseñados profesionalmente.

También compartiremos algunos de los principios menos conocidos del secado de adhesivos, desde la temperatura ideal, la humedad y el flujo de aire hasta la gestión de la carga y el tiempo de permanencia. Los clientes requieren túneles de secado y enfriamiento escalables que protejan el envoltorio, distribuyan el aire, deshumidifiquen la carga de agua y controlen el sistema, a la vez que monitoreen y registran continuamente datos trazables para garantizar la calidad. Los clientes buscan un profundo conocimiento del sector en sus socios científicos ambientales, en quienes confían para aplicar estas lecciones, y eso es precisamente lo que Cobeal ofrece.

# Diseño de procesos y túneles para adhesivos automotrices



## Manejo de aire y diseño de difusores

El flujo de aire uniforme en la superficie del producto es el factor más importante para la uniformidad del secado. La teoría de la capa límite muestra que el adhesivo solo "siente" la fuerza cortante cercana a la superficie, generada por la velocidad externa  $UUU$ . Las notas de campo confirmaron un curado desigual entre el centro y el borde de los bastidores, un indicio de desequilibrio del difusor.

- **Regla de diseño:** Entregar una velocidad laminar frontal de 0.2 a 0.4 m/s, uniforme en  $\pm 10\%$  a lo largo de la carga.
- **Ejemplo:** A 0.3 m/s sobre una superficie de rack de  $1 \text{ m}^2$ , el caudal volumétrico es de  $1080 \text{ m}^3/\text{h}$ . Duplicar a 0.6 m/s aumenta el coeficiente de transferencia de masa  $h_{mh}$ - $m_{hm}$  aproximadamente un 40%, pero conlleva el riesgo de reseca los bordes.

## Instrumentación y control

La inspección visual ya no es suficiente. Las líneas de adhesivo deben operar con monitoreo en tiempo real de temperatura, humedad relativa y velocidad del flujo de aire. Los datos registrados facilitan las auditorías de los fabricantes de equipos originales (OEM) y garantizan la repetibilidad.

- **Regla de diseño:** Instalar sensores en múltiples posiciones del rack (centro + bordes).
- **Ejemplo:** Si los bastidores centrales se secan menos que los bordes, un simple conjunto de sondas RH puede detectar el desequilibrio.

## Envolvente y construcción

Los túneles de secado deben funcionar como recintos sellados y aislados que mantengan una humedad relativa y una temperatura precisa. Los paneles sándwich con separadores de vapor evitan la infiltración que desestabilizaría la humedad y aumentaría el consumo de energía. En entornos automotrices, donde se aplican adhesivos a espuma, plásticos y compuestos, esta envolvente es la primera defensa contra la deriva estacional en las condiciones de la planta.

- **Regla de diseño:** Fuga del recinto  $< 2\%$  del caudal de suministro.
- **Ejemplo:** Un túnel de  $20 \text{ m}^3$  con un suministro de  $4000 \text{ m}^3/\text{h}$  no debería tener fugas de más de  $\sim 80 \text{ m}^3/\text{h}$  para mantener una HR de  $\pm 3\%$ .

## Deshumidificación y adaptación de carga

La capacidad de eliminación de agua debe ser acorde con la liberación del adhesivo. Una sola rejilla puede descargar varios litros de agua en un ciclo de 10 minutos. Si la deshumidificación es insuficiente, la humedad relativa aumenta, lo que ralentiza el secado y altera el equilibrio del curado.

- **Regla de diseño:** Dimensionar la capacidad de deshumidificación hasta la carga máxima + margen del 20%.
- **Ejemplo:** Si un lote libera 8kg de agua/hora, diseñe una extracción de 10 kg/hora para mantener estable la HR.

## Zonas de secado por etapas

Un túnel de tres zonas equilibra velocidad y calidad:

- **Evaporación (Zona 1):**  $\sim 24^\circ\text{C}$ , 35-40 % HR, 0.2 m/s. Elimina la pegajosidad superficial sin dejar película.
- **Eliminación masiva (Zona 2):** Misma temperatura, 30-35% HR, 0.3-0.4 m/s. Elimina la mayor parte del agua/disolvente.
- **Acondicionamiento (Zona 3):**  $\sim 24^\circ\text{C}$ , 35-40% HR, 0.2 m/s. Iguala gradientes y prepara para el curado.
- **Ejemplo:** Para adhesivos PUR, una eliminación de agua de aproximadamente el 47% después de la Zona 2 produjo uniones más resistentes. Por lo tanto, la Zona 3 debería estabilizar la película antes del ensamble.

## Energía y sostenibilidad

Los fabricantes de equipos originales (OEM) automotriz exigen no solo calidad, sino también eficiencia. La recuperación de calor y el diseño de bajas fugas reducen los costos operativos. La integración con el sistema HVAC de la planta reduce la redundancia.

- **Regla de diseño:** Recuperar al menos el 30% del calor sensible del escape a través de intercambiadores de flujo cruzado.

## Resumen de los objetivos de diseño del túnel

- Fuga del gabinete  $<2\%$  del flujo de suministro
- Velocidad laminar de la cara  $0.2\text{--}0.4\text{ m/s}$ , uniforme hasta  $\pm 10\%$
- RH banda media  $\sim 35\%$ , estrictamente controlada
- Capacidad máxima de deshumidificación  $\geq$  carga de agua  $\times 1.2$
- Tres zonas: evaporación, eliminación a granel, acondicionamiento
- Registro de sensores multipunto para control de calidad



# Túnel de Secado Caliente

**Caso de aplicación.** Secado continuo por aire caliente y curado de adhesivos para interiores de automóviles, encapsulado de componentes electrónicos y fabricación de materiales compuestos. La circulación de aire forzado garantiza la uniformidad en los bastidores, mientras que los módulos opcionales de asistencia IR reducen aún más los tiempos de ciclo y el consumo de energía por pieza. Los modelos COB-TFI estándar funcionan hasta 200°C, con un paquete de alta temperatura disponible hasta 300°C para aplicaciones exigentes.

## Resumen de rendimiento

- **Temperatura de funcionamiento:** RT-200°C (estándar); hasta 300°C con opción HT
- **Precisión del control de temperatura:**  $\pm 1^\circ\text{C}$
- **Uniformidad de temperatura:**  $\pm 5^\circ\text{C}$  en toda la zona de trabajo ( $\pm 2^\circ\text{C}$  disponible con paquete de alta uniformidad)
- **Calentamiento a 150°C:** ~15 min (cámara vacía)
- **Recuperación térmica después de la carga:**  $\leq 15\text{s}$  hasta el punto de ajuste (funcionamiento constante)
- **Humedad relativa (aire de proceso):** sistema de aire caliente seco; módulos de deshumidificación opcionales disponibles.
- **Eficiencia energética:** 25% menos de consumo con circulación de alta eficiencia en comparación con hornos estáticos; hasta un 30% más de reducción cuando se especifican módulos de asistencia IR
- **Velocidad del transportador:** 0-4 m/min, ajustable en circuito cerrado
- **Material de la banda:** malla de acero inoxidable (estándar); bandas de PVC o especiales sobre pedido

## Mecánica y construcción

- **Interior:** acero inoxidable resistente a la corrosión (estándar SUS304; SUS201/316/316L disponible)
- **Exterior:** acero laminado en frío con recubrimiento en polvo
- **Aislamiento:** fibra mineral/cerámica de alta densidad
- **Enfriamiento:** zona de enfriamiento modular flujo abajo para estabilización posterior al curado
- **Temperatura de la carcasa:** baja temperatura de la superficie externa para minimizar la carga de calor ambiental

## Controles y seguridad

- **Controlador:** HMI de pantalla táctil programable (PID + SSR + temporizador de recetas)
- **Monitoreo:** temperatura del aire en múltiples puntos y velocidad del transportador; detección opcional de flujo de aire y HR
- **Datos:** registro y exportación de lotes/ejecuciones
- **Seguridad:** parada de emergencia de doble canal, corte por sobretensión, circuitos de puerta/interbloqueo; diseñado para integrarse con sistemas de seguridad que cumplen con la norma ISO

## Electricidad y calefacción

- **Método de calentamiento:** eléctrico (convección), asistencia IR opcional
- **Potencia/voltaje:** consulte la tabla de modelos (trifásico; 220/480 V típico, otros voltajes disponibles)

**Garantía:** 1 año estándar



## HORNO INDUSTRIAL DE CURADO DE PEGAMENTO DE ALTA TEMPERATURA PARA SECADO INDUSTRIAL

- **Temperatura (termómetro)** → “RT-200°C (300 °C opcional)”
- **Precisión (icono de objetivo)** → “ $\pm 1^\circ\text{C}$ ”
- **Velocidad (icono de cinta transportadora)** → “0-4 m/min”
- **Energía (hoja/rayo)** → “Ahorro del 25 al 30 %”
- **Procesa hasta 120 paneles/hora** a una velocidad de transporte de 0.3 m/s (sustratos de espuma típicos de la industria automotriz)
- **Cumplimiento de ISO 9001, CE, RoHS y OSHA**
- **Ahorre hasta un 30% en costes energéticos** frente a los hornos convencionales
- **Amortización en menos de 18 meses** para línea automotriz estándar
- **Red de servicio global: soporte 24/7**
- **Garantía estándar de 1 año**, opciones extendidas disponibles
- **Planes de mantenimiento y servicio** disponibles



## Aplicaciones

- Galvanoplastia
- Secado de botellas húmedas
- PBC (placas de circuito impreso)
- Curado del pegamento de las pegatinas
- Vulcanización de silicona
- Accesorios para faros de coche
- Material de PE PP
- Impresión de serigrafía de fundas de teléfono
- Curado de teflón

## Opciones adicionales

- Banda de malla de acero inoxidable
- Banda de malla de teflón
- Banda de PVC
- Cinta transportadora de cadena de acero inoxidable

Producto modelo	Dimensiones internas (H×W×D, mm)	Dimensiones externas (H×W×D, mm)	Rango de temperaturas (°C)	Potencia (kW)	Voltaje (V)
COB-TFI-2600	2600 × 400 × 100	2600 × 450 × 1150	RT - 120 °C	9	220/480
COB-TFI-4000	4000 × 450 × 150	4000 × 850 × 950	RT - 150 °C	20	220/480
COB-TFI-9600	9600 × 800 × 200	9600 × 1000 × 1000	RT - 200 °C	36	220/480
COB-TFI-13500	13500 × 1000 × 150	13500 × 1100 × 900	RT - 150 °C	27	220/480

## Características y beneficios

### Panel de control

- Panel de control fácil de operar
- Incluye zonas de calentamiento individuales para ayudar a uniformizar la temperatura.
- Control de temperatura independiente
- Teclas físicas (respuesta táctil)
- Resistente al medio ambiente (puede funcionar en entornos hostiles)
- Simple y confiable
- Bajo consumo de energía para un funcionamiento ininterrumpido
- Pantalla táctil disponible
- Grabación de datos disponible
- Malla de acero inoxidable

### Velocidad ajustable

- Resistencia a la corrosión
- Resistencia a altas temperaturas
- Placas ajustables

### Prevenir la pérdida de calor

- Ahorro de energía, alta eficiencia.
- Volumen de aire ajustable
- Voltaje personalizable
- Acero inoxidable interior
- Calentamiento rápido
- Larga vida útil
- Calentamiento continuo a temperatura constante
- Rendimiento estable

# Perspectivas para fabricantes de automóviles



## Transferencia de calor y masa en la superficie adhesiva

Cuando el adhesivo se seca en el túnel, dos factores determinan la velocidad y la calidad del resultado. El aire exterior de la película: su temperatura, humedad y la uniformidad con la que se mueve y extrae la humedad o el solvente de la superficie. El adhesivo interior (su composición química, espesor y la facilidad con la que se propagan los volátiles) alimenta esa superficie. Si la velocidad o la temperatura del aire son irregulares en un estante, la superficie elimina la humedad más rápidamente en algunos puntos que en otros, y estas diferencias se reflejan posteriormente en una resistencia de adhesión desigual.

El secado siempre se realiza en dos pasos. Primero, la superficie permanece húmeda y la velocidad la determina el aire: una mejor circulación del aire y un equilibrio adecuado entre temperatura y humedad hacen que esta etapa sea rápida y estable. Una vez que la superficie comienza a secarse, el cuello de botella se desplaza dentro de la película. La humedad debe salir a través del adhesivo, lo cual es más lento. Si el túnel se calienta y se seca demasiado al principio, se forma una película densa que atrapa la humedad debajo. Esto parece eficiente al principio, pero puede dejar la unión quebradiza o con un curado insuficiente.

La humedad relativa es la palanca silenciosa que te mantiene a salvo de problemas. El aire muy seco acelera la evaporación, pero favorece la formación de película; la humedad alta lo ralentiza todo y corre el riesgo de que se produzcan uniones débiles. Un punto de ajuste medio, alrededor de los 30s, mantiene la velocidad lo suficientemente alta sin dañar la película. El grosor también importa. Las capas delgadas permanecen sujetas al aire durante más tiempo y su acabado es predecible; las líneas de unión más gruesas entran antes en la etapa de difusión interna, más lenta, y necesitan una permanencia más prolongada o varias zonas para equilibrar la humedad interna.

En la práctica, el túnel debería interpretarse como un proceso tranquilo y disciplinado, más que agresivo: velocidad de cara uniforme en todo el plano del producto, temperatura moderada, humedad controlada en la banda media y un proceso escalonado desde una evaporación suave hasta la eliminación en masa y un breve período de acondicionamiento que permite que los gradientes internos se relajen antes de que las piezas salgan de la línea. Esta fórmula produce lo que los fabricantes de automóviles necesitan: **uniones repetibles**, sin el drama de buscar defectos posteriormente.

**“Si el flujo de aire es fuerte y uniforme en todo el bastidor, la evaporación es más rápida y uniforme. Si la velocidad es desigual, el secado también lo será, lo que provocará puntos débiles en la resistencia de la unión.”**



**“Si se aplica aire caliente y seco al adhesivo con demasiada fuerza al principio, se acorta la primera etapa, pero se corre el riesgo de formar una película dura. Esto atrapa la humedad debajo, prolonga la segunda etapa y perjudica la calidad de la película.”**



# POR QUÉ ES IMPORTANTE LA HUMEDAD RELATIVA



En la práctica, los túneles para adhesivos automotrices deberían apuntar a un rango medio de alrededor del 35 %. Operar "lo más seco posible" es contraproducente.

La humedad relativa es uno de esos parámetros invisibles que, sigilosamente, decide si las uniones adhesivas son resistentes o frágiles. La forma más sencilla de imaginarlo es dejar secar la ropa mojada. En un día en el desierto con aire muy seco, la tela se endurece rápidamente, pero si se toca el interior, algunas partes siguen húmedas. El exterior se secó demasiado rápido, dejando la humedad atrapada. Eso es lo que ocurre en un túnel cuando la humedad desciende por debajo del 30%. La superficie de la película adhesiva se endurece antes de que el disolvente o el agua puedan escapar. El resultado es una unión frágil y poco fiable que parece terminada, pero que falla con el uso.

Ahora imaginen colgar la misma ropa en un húmedo día de verano. Horas después, sigue húmeda. En el túnel, eso equivale a funcionar con una humedad superior al 60%. La película no puede desprenderse de la humedad, el curado se ralentiza y la línea de unión se debilita. Los operarios pueden suponer que un mayor tiempo de permanencia lo solucionará, pero la química subyacente no se moverá hasta que el aire se seque.

El punto óptimo se encuentra en el rango medio, entre el 35% y el 40% de humedad relativa. En este rango, el aire es lo suficientemente seco como para absorber el agua rápidamente, pero lo suficientemente húmedo como para mantener la película flexible mientras se seca. Las uniones se forman de forma más uniforme y el acabado es consistente entre piezas. En la producción automotriz, esto significa tableros que no se deslaminan, sellos que se mantienen flexibles y paneles que superan los controles de calidad sin sorpresas.

Es tentador asumir que "cuanto más seco, mejor", pero el túnel no es un desierto, sino un proceso controlado. Al mantener la humedad en la banda media, los fabricantes evitan capas quebradizas y un curado incompleto, ofreciendo uniones rápidas de realizar y fiables en servicio.

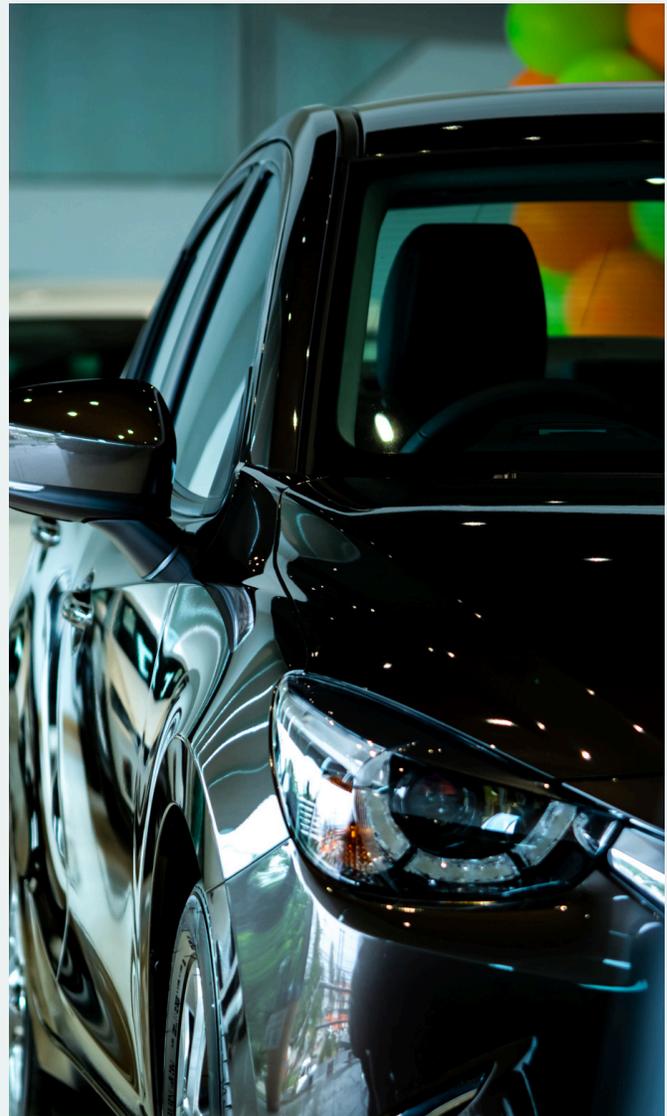
## Espesor de la película y contenido de sólidos

El grosor de la capa adhesiva y la cantidad de material sólido que contiene influyen directamente en su secado en el túnel. Las películas delgadas se comportan de forma predecible: siempre que el aire sea uniforme, la velocidad de secado depende principalmente de la temperatura, la velocidad y la humedad. Estas capas permanecen "limitadas por el aire" durante más tiempo, lo que significa que el flujo de aire controla el ritmo. Secan más rápido y la línea puede avanzar con seguridad.

Las líneas de unión más gruesas cuentan una historia diferente. Una vez que la superficie comienza a secar, la humedad o el solvente subyacente tienen más dificultades para escapar. El proceso pasa a una etapa de difusión limitada mucho antes. Lo que parece sólido por fuera puede estar blando por dentro, dejando la unión vulnerable. La solución práctica es prolongar el tiempo de permanencia de estas piezas o dividir el túnel en varias zonas, cada una optimizada para facilitar la salida de la humedad restante paso a paso.

Para los fabricantes de automóviles, esto hace que la disciplina en el túnel sea no negociable. El aire debe circular uniformemente por cada cremallera para garantizar una resistencia de unión uniforme. Un exceso de velocidad o un aire excesivamente seco en la primera zona puede provocar la formación de costras, mientras que un control insuficiente en las zonas posteriores deja los núcleos húmedos.

El túnel diseñado por Cobeal, se presenta como una secuencia: una zona de evaporación con aire suave para eliminar la adherencia superficial, una zona de volumen con un flujo de aire más intenso para eliminar la mayor parte del agua o disolvente, y una zona de acondicionamiento donde se permite que los gradientes internos se relajen. Al tener en cuenta el espesor y ajustar el tiempo de permanencia a la película, las piezas salen del túnel consistentes, fiables y listas para el siguiente paso de ensamblaje.



## Normas prácticas de diseño de túneles para fabricantes de automóviles

1. **La uniformidad del flujo de aire no es negociable:** un secado uniforme significa una resistencia de adhesión uniforme.
2. **No seque demasiado la superficie:** la velocidad del aire moderada y la humedad evitan la formación de costras.
3. **Preparar el túnel:**
  - **Zona de evaporación:** aire suave para eliminar la adherencia sin dañar la película.
  - **Zona de secado a granel:** flujo de aire controlado para eliminar la mayor parte del agua o solvente.
  - **Zona de acondicionamiento:** Condiciones suaves que permiten que los gradientes de humedad internos se relajen.
4. **Adapte el tiempo de permanencia al espesor del adhesivo:** las películas gruesas necesitan un secado más prolongado o escalonado.

# túnel de bahías múltiples

## Especificación (rango típico para aplicaciones automotrices)

- **Dimensiones:** 3-30 m de largo × 3-5 m de ancho × 3 m de alto
- **Bahías:** 2 a 12 compartimentos separados, cada uno accesible mediante puertas enrollables o elevables
- **Flujo de aire:** laminar zonificado, 0.25-0.45 m/s a lo largo de la bahía; equilibrio bahía por bahía
- **Temperatura:** 18-26 °C, ajustable por bahía
- **Humedad relativa:** 25-45% (HR), etapas programables por tipo de material a secar
- **Deshumidificación:** rueda desecante central, extracción de 10 a 150 kg/h
- **Manejo de aire:** UMA compartida con prefiltros y filtración de segunda etapa
- **Controles:** PLC con sondas de temperatura y humedad relativa a nivel de zona y registro de auditoría
- **Servicios:** reactivación con vapor, gas o electricidad para desecante; serpentines de agua helada opcionales

## Descripción

La serie COB-DT-1000 es una pared acondicionadora de alta capacidad diseñada para el procesamiento industrial de mediana a gran escala. Cada compartimento funciona como un compartimento de secado autónomo, con un sistema centralizado de tratamiento de aire y deshumidificación. Mediante la zonificación del flujo de aire y el control de la humedad, diferentes productos o etapas del mismo material pueden procesarse en paralelo sin contaminación cruzada ni interferencias en el proceso.

Se accede a las bahías mediante puertas enrollables o elevables, lo que permite a los operadores cargar y descargar los racks eficientemente, manteniendo el aislamiento de las zonas adyacentes. La distribución del aire está diseñada para mantener una velocidad uniforme en las bandejas, lo que garantiza un secado uniforme independientemente de la posición de los racks. Este enfoque modular reduce el tiempo de inactividad, ya que cada bahía puede desconectarse para realizar tareas de mantenimiento sin detener todo el sistema.

## Solicitud

El COB-DT-1000 es ideal para instalaciones que amplían su capacidad de secado, pasando de una sola sala a operaciones multizona. Resulta especialmente útil para productores que gestionan múltiples SKU y requieren curvas de humedad o temperatura ligeramente diferentes. Entre sus aplicaciones habituales se incluyen tableros de instrumentos, así como piezas interiores y exteriores. Al combinar capacidad, flexibilidad y fiabilidad, el COB-DT-1000 permite a los fabricantes de automóviles aumentar su producción manteniendo la calidad en diversas líneas de productos.



Serie COB-DT-1000

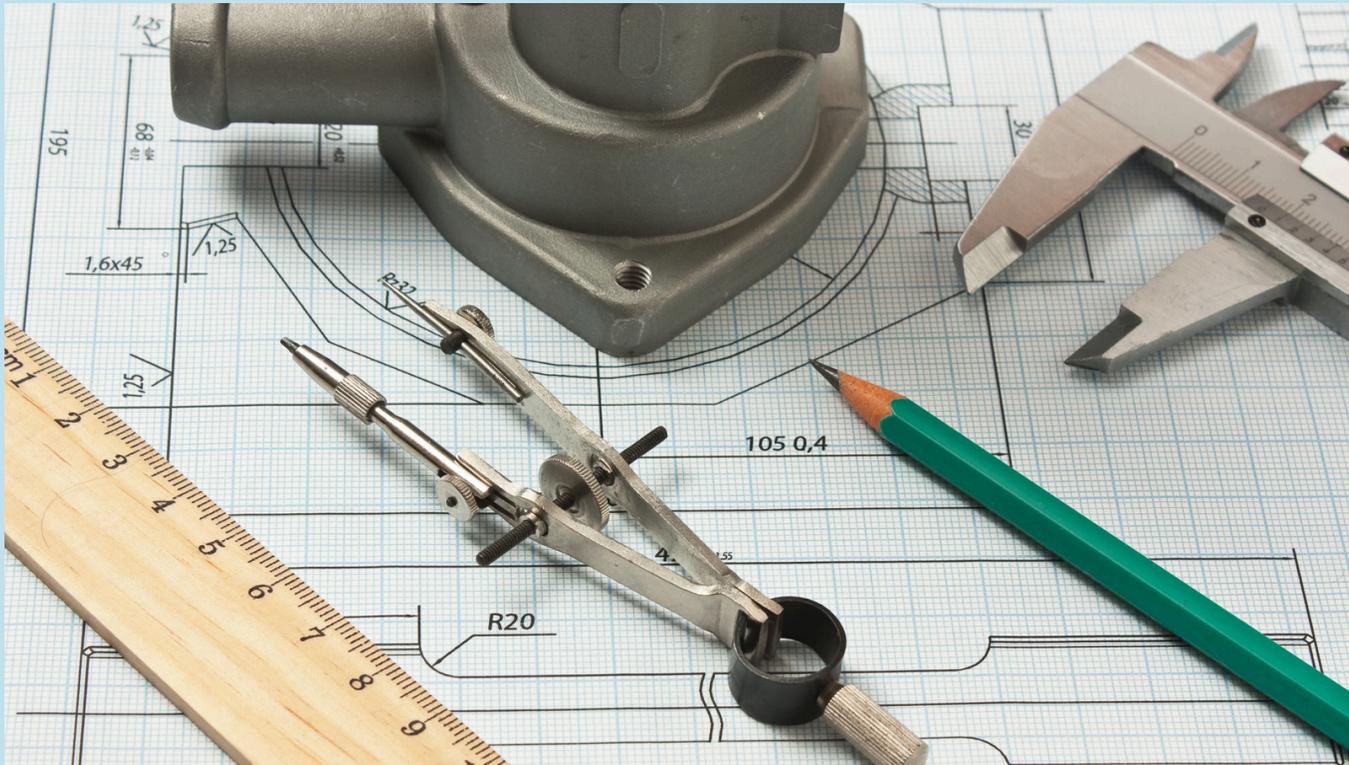
# Cinética de curado de adhesivos y formación de uniones



El secado no es el final de la historia. Para la mayoría de los adhesivos automotrices, especialmente los poliuretanos, ampliamente utilizados en la unión de vidrio, ensamblajes interiores y uniones estructurales, el verdadero rendimiento reside en el curado químico posterior. Este curado consta de dos partes: la humedad del aire se difunde en el adhesivo y, a continuación, una reacción química fija el material en su lugar. Si alguno de los aspectos de este proceso está desequilibrado, las uniones son más débiles de lo que parecen.

Piénselo así: cuando se coloca una gota de poliuretano en el canal del parabrisas, no se fortalece solo porque la superficie se siente seca. Las moléculas de agua deben penetrar en la gota y desencadenar una reacción química con los grupos isocianato en su interior. Los estudios demuestran que una mayor humedad y temperatura aceleran dicha reacción, mientras que una humedad baja la ralentiza. En la práctica, esto significa que el túnel no puede funcionar "lo más seco posible", ya que privar al adhesivo de humedad en la superficie puede retrasar el curado del núcleo.

Estudios recientes han confirmado lo que muchos operadores ya saben por experiencia. Con una humedad moderada, la química se activa más rápido, las uniones se fortalecen antes y el rendimiento mejora. Las pruebas de vidrio para automóviles confirman que las formulaciones de curado más rápido, o los túneles que gestionan correctamente el equilibrio de humedad, reducen los tiempos de espera antes de que un vehículo pueda pasar a la siguiente estación.



La situación es similar para los adhesivos sensibles a la presión y estructurales. Incluso después de que la película parezca endurecida, la resistencia continúa aumentando con el paso de las horas a medida que se forman los enlaces cruzados químicos. En algunos sistemas, la luz ultravioleta o la adición de agentes reticulantes aceleran este proceso, pero el principio es el mismo: el secado prepara la superficie, mientras que el curado fortalece la unión.

Para los fabricantes, la lección de diseño es sencilla. El túnel no debe aspirar a eliminar hasta la última gota de agua. En cambio, debe proporcionar un entorno controlado que deje suficiente humedad residual para que el curado se realice rápidamente una vez que la pieza sale de la zona de secado. Un enfoque por etapas (evaporación, secado en bloque y acondicionamiento) permite alcanzar ese equilibrio.

El objetivo no es un curado completo dentro del túnel. El objetivo es lograr un curado suficiente para una manipulación y un procesamiento posteriores seguros, a la vez que se prepara la química para que finalice su trabajo en las horas siguientes. Al ajustar la humedad, la temperatura y el flujo de aire teniendo en cuenta el curado, las plantas automotrices pueden acortar los tiempos de ciclo, reducir las repeticiones de trabajos y producir uniones que satisfacen tanto las necesidades inmediatas de manipulación como los estándares de durabilidad a largo plazo.

# Lo que los ingenieros y gerentes de planta deben saber sobre los túneles de secado

Para los ingenieros, el túnel de secado no es solo un sistema de control de temperatura con una cinta transportadora, sino un entorno de proceso donde el calor, la transferencia de masa y la cinética química deben estar en sintonía. El problema más común que observamos en las plantas es el flujo de aire desigual. Si la velocidad frontal a lo largo del bastidor varía en más de un  $\pm 10\%$ , las velocidades de secado divergen, al igual que la resistencia de la unión. Los datos de campo lo confirman: los bastidores centrales suelen curar más lentamente que los de los bordes porque los difusores no están equilibrados. La solución no es más calor, sino una distribución del flujo de aire optimizada.

La humedad relativa es igualmente crítica. Por debajo del treinta por ciento, los adhesivos forman una película en la superficie, reteniendo la humedad en su interior. Por encima del sesenta por ciento, las uniones salen del túnel con un curado insuficiente. El objetivo defendible (confirmado tanto en estudios de laboratorio como en ensayos en planta) es un control de banda media con una humedad relativa del treinta y cinco al cuarenta por ciento. Este no es un valor "blando". Es donde los adhesivos, tanto a base de agua como de solvente, mantienen un tiempo abierto sin defectos, y se puede lograr con una deshumidificación adecuada (diseñada para la carga máxima más un margen del veinte por ciento).

Los ingenieros también deben tener en cuenta que el secado consta de dos etapas. El período de velocidad constante se rige por el aire; el período de velocidad decreciente se rige por el propio adhesivo. Intentar inyectar demasiado aire demasiado pronto solo acorta la primera etapa y perjudica la segunda. Un diseño de tres zonas (evaporación, eliminación de masa y acondicionamiento) equilibra estas fuerzas. Datos reales muestran que los adhesivos de poliuretano alcanzan su máxima resistencia de adhesión cuando la Zona 2 absorbe aproximadamente la mitad del agua, y la Zona 3 permite que los gradientes se relajen antes del ensamblaje.



## Llamadas de especificaciones

- Velocidad del aire: 0,2-0,4 m/s, uniforme a  $\pm 10\%$
- Punto de ajuste de humedad relativa: 35-40 % HR (carga máxima + 20 % de capacidad de deshumidificación)
- Uniformidad de temperatura:  $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  estándar ( $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  con actualización)
- Recuperación térmica:  $\leq 15$  segundos hasta el punto de ajuste después de la carga
- Eficiencia energética: 25 % menos de consumo con circulación; hasta un 30 % de ahorro adicional con asistencia IR

# Construyendo para confiabilidad y auditabilidad



Los gerentes de planta se enfrentan a una preocupación diferente, pero relacionada: cómo demostrar la consistencia a los fabricantes de equipos originales (OEM) y a los auditores. La inspección visual ya no es aceptable. Los túneles deben registrar la temperatura, la humedad relativa (HR) y el flujo de aire en múltiples puntos de los bastidores, no solo con una sonda en la cámara de distribución. La detección multipunto es la única manera de detectar el desequilibrio entre el borde y el centro antes de que se refleje en una prueba de pelado fallida. Los datos registrados no solo satisfacen las auditorías, sino que también permiten a los gerentes resolver problemas más rápidamente y reducir los desechos.

La eficiencia energética es otro punto de presión. Los túneles estáticos convencionales desperdician energía al recalentar grandes volúmenes de aire. En cambio, los túneles de aire forzado con aislamiento de alta densidad reducen el consumo de referencia en aproximadamente un veinticinco por ciento. La incorporación de la asistencia IR reduce la energía por pieza hasta en un treinta por ciento. Este rendimiento medido supera a los diseños de túneles estándar. Para los administradores encargados de reducir el CO<sub>2</sub> por vehículo, estos ahorros pueden justificarse con los datos registrados de los servicios públicos.

La durabilidad mecánica cierra el círculo. Los interiores de acero inoxidable resisten el ataque químico de adhesivos y disolventes, lo que prolonga su vida útil. Las bajas temperaturas de la carcasa reducen la carga de la climatización en el taller, lo que garantiza la seguridad de los operarios y la previsibilidad de los costes energéticos. Estos detalles son importantes, ya que determinan si un túnel es un activo fiable o un problema de mantenimiento.

Tanto para ingenieros como para gerentes, el mensaje es el mismo: los túneles de secado de Cobeal son sistemas controlables en los que se puede confiar. Cuando se diseñan y operan prestando atención al flujo de aire, la humedad relativa y el secado por etapas, ofrecen uniones repetibles, menos desperdicios y facturas de energía más bajas. Si se ignoran, se convierten en cuellos de botella crónicos. La diferencia no es teórica: es la disciplina de diseño y el control operativo.

# Garantía y seguimiento de la calidad



Un túnel de secado es tan bueno como su capacidad para repetir el mismo resultado turno tras turno. En el caso de los adhesivos, esto significa una resistencia de unión constante en cada estante, cada pieza y cada ciclo de producción. La única manera de garantizarlo es mediante la medición y la monitorización integradas directamente en el túnel.

Las sondas de un solo punto en el plenum indican poco más que si el calentador está encendido. Lo que importa es el entorno en el plano del producto: donde la velocidad del aire, la temperatura y la humedad se encuentran con la superficie del adhesivo. Si el flujo de aire en el borde del rack es más rápido que en el centro, las velocidades de secado divergen. Si la humedad aumenta durante una carga pesada, las uniones salen del túnel con un curado insuficiente. Estas diferencias son invisibles a simple vista, pero se manifiestan posteriormente como pruebas de despegado fallidas o piezas rechazadas.

La solución técnica es sencilla: detección multipunto distribuida por toda la zona de trabajo del túnel. Al registrar la temperatura, la humedad y el flujo de aire en puntos representativos, el sistema puede confirmar la uniformidad en tiempo real y aplicar correcciones cuando se detectan desviaciones. El registro de datos también proporciona a los gerentes de planta un registro fiable para presentar en las auditorías de los fabricantes de equipos originales (OEM). Este enfoque combinado valida que cada pieza haya pasado por condiciones controladas.

Los controles modernos simplifican esto. Una HMI táctil permite analizar las tendencias de las variables de proceso, exportar datos de ejecución e identificar desviaciones al instante. Para los operadores, esto significa menos sorpresas en los controles de calidad. Para los ingenieros, significa información en tiempo real sobre cómo la configuración del túnel se refleja en el rendimiento de la unión. Y para los gerentes, significa convertir una caja negra en un paso del proceso transparente y auditable.

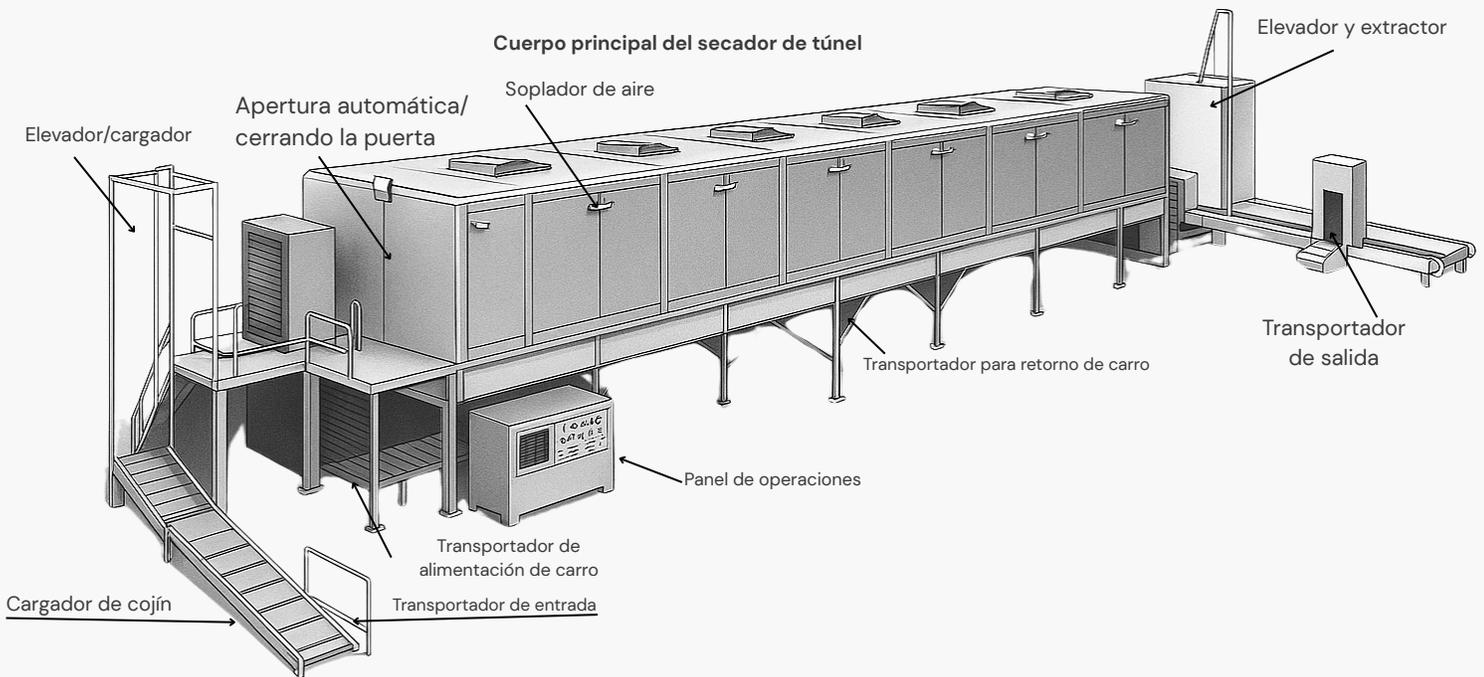
En la práctica, el control de calidad en los túneles de secado de Cobeal no consiste en detectar problemas a posteriori. Se trata de prevenirlos comprobando y mejorando la uniformidad de las condiciones en la superficie de la película.

“Las auditorías OEM no preguntan si el producto parecía seco, sino que piden pruebas registradas”.

Esto es lo que ofrece Cobeal.



# Mantenimiento y capacidad de servicio



Un túnel de secado debe funcionar día tras día, pero lo que mantiene la producción en marcha no es solo el control del flujo de aire y la temperatura, sino la facilidad de mantenimiento del sistema. Para ingenieros y gerentes de planta, el tiempo de inactividad es un costo oculto que puede eclipsar el ahorro energético si el túnel no está diseñado para facilitar el acceso y el mantenimiento.

El primer principio es la **visibilidad**. Los paneles deben abrirse fácilmente para que los operadores puedan inspeccionar bandas, calentadores y ventiladores de circulación sin desmontar la mitad de la máquina. Una visibilidad despejada y puertos de acceso reducen la necesidad de herramientas especializadas y acortan cada ciclo de servicio. Cuando es necesario cambiar filtros o correas, los conjuntos modulares marcan la diferencia entre una pausa de diez minutos y una parada de medio turno.

En segundo lugar, la facilidad de **limpieza**. Los adhesivos, recubrimientos y solventes inevitablemente dejan residuos. Los interiores de acero inoxidable resisten los ataques químicos y facilitan la limpieza. Las superficies lisas, sin perforaciones ni grietas innecesarias, evitan la acumulación de residuos, y las bandejas extraíbles bajo la cinta transportadora recogen las gotas antes de que se endurezcan y provoquen un problema de mantenimiento.

En tercer lugar, está la **fiabilidad** de los componentes. Rodamientos de alta calidad, motores sellados y correas resistentes a la corrosión prolongan los intervalos entre fallos. Al combinar esto con la monitorización en tiempo real de la carga del motor y el flujo de aire, los túneles pueden pasar del mantenimiento reactivo al predictivo, detectando un desequilibrio en el ventilador o una obstrucción en el filtro antes de que afecte al rendimiento del secado.

Para los gerentes, la **facilidad de servicio está directamente relacionada con la disponibilidad**. Un túnel que tarda horas en volver a funcionar después del trabajo rutinario es un inconveniente. Uno construido con piezas de cambio rápido y una limpieza sencilla se convierte en un activo confiable. En el sector automotriz, donde los tiempos de ciclo son implacables y las paradas de línea se propagan por toda la planta, esa diferencia define si un túnel es simplemente un equipo o una garantía de producción.

# Integración con líneas de producción automotrices



En la fabricación de automóviles, cada equipo debe encajar en una secuencia perfectamente coordinada. Los túneles de secado no pueden funcionar como sistemas independientes; deben integrarse a la perfección con las cintas transportadoras, el tiempo takt y los controles de planta. El valor de un túnel se mide no solo por su rendimiento de secado, sino también por su capacidad para mantener el ritmo y la comunicación con la línea.

El primer punto de **integración es la manipulación de materiales**. La producción automotriz a menudo depende de alimentadores automatizados, elevadores o brazos robóticos para colocar los componentes en los transportadores. Un túnel debe aceptar estas entradas sin generar cuellos de botella. Las velocidades ajustables del transportador (0-4 m/min con control de bucle cerrado) permiten que el túnel se adapte al tiempo de procesamiento, mientras que los diseños modulares de las bandas soportan tableros, paneles de puertas, conjuntos de vidrio y carcasas electrónicas sin necesidad de reequiparlas.

La segunda es la **integración de los controles**. Las HMI de pantalla táctil programables con lazos de control PID y SSR permiten a los operadores configurar y supervisar los materiales, pero la verdadera integración implica conectar el túnel al sistema MES/SCADA de la planta. Esto permite la monitorización en directo de la temperatura, la humedad relativa y el flujo de aire en múltiples puntos del túnel, con la señalización instantánea de las desviaciones. Las funciones de exportación de datos crean registros digitales que se integran directamente en los sistemas de control de calidad, garantizando así un historial de proceso trazable para cada pieza.

El tercer factor es el **equilibrio y la recuperación de la línea**. Las plantas automotrices no pueden permitirse tiempos de inactividad cuando un túnel requiere mantenimiento. Las bandas de cambio rápido, los ventiladores modulares y la monitorización del mantenimiento predictivo acortan las intervenciones, permitiendo que la línea se reinicie sin paradas prolongadas. La rápida recuperación térmica ( $\leq 15$  segundos hasta el punto de ajuste después de la carga) garantiza que el tiempo del ciclo no se interrumpa al reanudarse la producción.

Finalmente, la **integración incluye enclavamientos de seguridad**. Los túneles deben estar conectados a las paradas de emergencia y a los protocolos de bloqueo/etiquetado a nivel de planta, con sistemas de doble canal que cumplan con las normas ISO. Esto garantiza que el mantenimiento, las auditorías y las paradas de emergencia se alineen con la arquitectura de seguridad general de la planta.

En la práctica, la integración significa que el túnel no solo seca las películas adhesivas, sino que se convierte en una parte invisible del ritmo de producción. Cuando el flujo de aire, la humedad y el curado se controlan en sincronía con el tiempo de procesamiento y los informes de calidad, el túnel deja de ser un cuello de botella y se convierte en una garantía de producción.

# Preparación para el futuro y cumplimiento normativo



La fabricación de automóviles se ve condicionada no solo por los objetivos de producción, sino también por las regulaciones y estándares que los rigen. Por lo tanto, un túnel de secado debe ser más que una herramienta para los adhesivos actuales; debe ser una plataforma que anticipe las necesidades del futuro.

El primer nivel es el **cumplimiento normativo**. Los túneles de Cobeal están diseñados para integrarse con sistemas de seguridad que cumplen con la norma ISO, incluyendo paradas de emergencia de doble canal, enclavamientos y cortes por sobretensión. A medida que las plantas se preparan para estándares globales más estrictos: ISO 13849, IEC 60204 y requisitos de seguridad específicos de los fabricantes de equipos originales (OEM) para la industria automotriz, estos túneles ya cumplen o superan las especificaciones básicas, minimizando el riesgo de modernización.

El segundo es el **cumplimiento ambiental**. Las regulaciones sobre emisiones de COV, consumo de energía e informes de carbono se siguen endureciendo. Los túneles de Cobeal reducen la energía por pieza hasta en un 30% en comparación con los túneles estándar. El aislamiento de alta densidad mantiene la energía en el proceso, lo que reduce el consumo de referencia. Para los clientes de la industria automotriz que operan bajo la norma ISO 50001 o con informes de sostenibilidad de fabricantes de equipos originales (OEM), estas características de diseño proporcionan métricas justificables.

La tercera es la **adaptabilidad modular**. Las químicas de los adhesivos evolucionan: base agua, base solvente, PUR, curado UV, y cada una presenta sus propias exigencias de secado y curado. La arquitectura modular del túnel de Cobeal permite actualizaciones sin necesidad de un reemplazo completo: se pueden añadir zonas de secado adicionales, kits de alta uniformidad, módulos de deshumidificación o asistencia IR a medida que se incorporan nuevos adhesivos a la línea de producción. Esto garantiza que la inversión en un solo túnel se mantenga viable durante las transiciones de adhesivos y procesos a lo largo de un ciclo de vida de 10 a 15 años.

La capa final es la **preparación digital**. Los túneles de Cobeal no son activos independientes, sino nodos de una planta conectada. Al registrar datos de temperatura, flujo de aire y humedad relativa en múltiples puntos y exportar dicha información, los túneles de Cobeal se ajustan a los requisitos de trazabilidad de la Industria 4.0 y los fabricantes de equipos originales (OEM). Esto significa que las auditorías de cumplimiento, las revisiones de calidad y los informes de sostenibilidad pueden generarse a partir de datos reales del proceso, no de estimaciones.

La preparación para el futuro va más allá de mantener el ritmo. Se trata de brindar a los gerentes de planta e ingenieros la confianza de que el túnel de Cobeal seguirá siendo un activo, no un lastre, a medida que los adhesivos evolucionan, las regulaciones se endurecen y las exigencias de los fabricantes de equipos originales (OEM) aumentan. De esta manera, el túnel de Cobeal no es solo un equipo, sino **un cumplimiento normativo integrado en la línea, a largo plazo**.

# ¡Gracias!



En Cobeal, diseñamos y suministramos sistemas de secado y curado que impulsan la producción automotriz: de forma fiable, eficiente y con el rigor técnico que su proceso exige. Si desea hablar sobre su aplicación, solicitar especificaciones o programar una evaluación de planta, nuestro equipo está listo para ayudarle.

Para consultas técnicas, incluya detalles sobre:

- Tipo de adhesivo (base agua, base disolvente, PUR, etc.)
- Espesor típico de la línea de unión y sustratos
- Tiempo de takt requerido o velocidad de línea
- Restricciones de proceso existentes (límites de temperatura, control de HR, espacio)

Nuestros ingenieros trabajarán con usted para dimensionar el túnel adecuado para su línea, garantizando la estabilidad del proceso y el cumplimiento a largo plazo.

Visita nuestro sitio web: <https://cobeal.com/>